

มลพิษทางอากาศกับภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ : ความเชื่อมโยงที่ไม่ควรมองข้าม (Air Pollution and Cardiac Arrhythmias: A Link That Should Not Be Overlooked)

เกริกวิชัย ศิลปวิทยาพร^๑ และ นิพนธ์ ฉัตรทิพากร^๒

^๑ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมสาขาโรคทางไฟฟ้าของหัวใจ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

^๒ ภาควิชาอายุรศาสตร์ สาขาวิชาหัวใจและหลอดเลือด ปรเภทวิชาแพทยศาสตร์และทันตแพทยศาสตร์

สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, nchattip@gmail.com

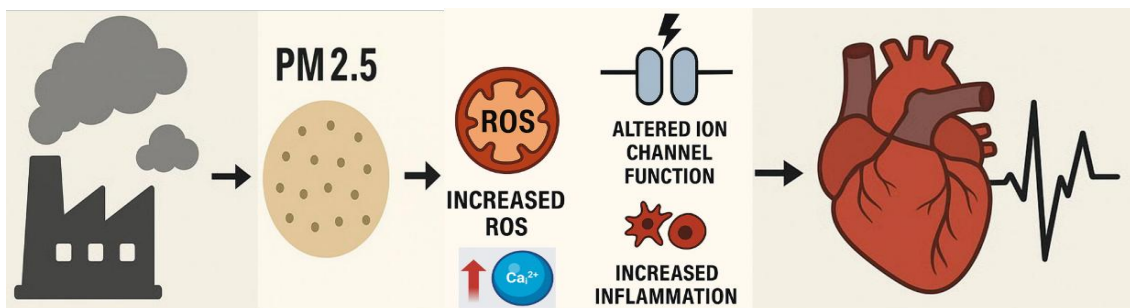
บทนำ

มลพิษจากฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (particulate matter: PM) ซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาค ล่องลอยในอากาศหลากหลายชนิด ทั้งในรูปแบบของแก๊ส อนุภาคอินทรีย์ และอนุภาคอนินทรีย์ ปัจจุบันมี งานวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงและผลกระทบที่รุนแรงของ PM ต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน หรือที่รู้จักกันในชื่อ PM2.5 ซึ่งได้ กลายเป็นหนึ่งในปัจจัยเสี่ยงทางด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ ในช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา มี งานวิจัยทั้งในระดับสิ่งมีชีวิต (*in vivo*) ในระบบจำลองภายนอก (*in vitro*) และในระดับคลินิกที่แสดงให้เห็น ถึงความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 กับภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ (cardiac arrhythmia) ซึ่งอาจนำไปสู่ ภาวะแทรกซ้อนตามมา อาทิ ภาวะหัวใจล้มเหลวหรือเสียชีวิตเฉียบพลันได้

กลไกทางพยาธิสรีรวิทยา

ในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา มีหลักฐานทั้งในระดับสัตว์ทดลอง (*in vivo*) ในระบบจำลอง ภายนอก (*in vitro*) รวมไปถึงการศึกษาในชั้นคลินิกที่แสดงให้เห็นว่า มลพิษทางอากาศเชื่อมโยงกับการเพิ่มขึ้น ของอัตราการเจ็บป่วยและอัตราการเสียชีวิต ไม่เพียงแต่ในประเทศสหรัฐอเมริกาแต่รวมถึงทั่วโลก (Brook et al., 2010: 2331–78) โดยมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาถึงผลกระทบของมลพิษต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular diseases, CVD) เช่น ภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (myocardial infarction, MI) โรค หลอดเลือดสมอง ภาวะหัวใจล้มเหลว ภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ PM2.5 หมายถึงฝุ่นละอองขนาดเล็กขนาดไม่ เกิน ๒.๕ ไมครอนในอากาศ ซึ่งมีความสำคัญเนื่องจากฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า ๑๐ ไมครอนนั้น ร่างกายสามารถสูดเข้าสู่ปอดและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้อย่างมีนัยสำคัญ PM2.5 สามารถเข้าสู่ ร่างกายผ่านทางเดินหายใจและแทรกซึมเข้าสู่กระแสเลือด ส่งผลกระทบต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดผ่าน หลายกลไก (Jinarat et al., 2025) ดังแสดงในภาพที่ ๑ ได้แก่

- **กระตุ้นกระบวนการอักเสบ** โดยมีหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่า PM2.5 สามารถกระตุ้นการหลั่งไซโตไคน์และสารก่อการอักเสบ เช่น IL-6 และ TNF- α
- **กระตุ้นการเกิดความเครียดออกซิเดชัน** โดยมีหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่า PM2.5 ทำให้เกิดความผิดปกติของไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นแหล่งผลิตพลังงานของเซลล์ โดยที่การทำงานที่ผิดปกติของไมโทคอนเดรียส่งผลทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species, ROS) จนเกิดภาวะความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress)
- **ทำให้เกิดความไม่สมดุลของระบบประสาทอัตโนมัติ** จากการวิจัยพบว่า การได้รับ PM2.5 ทำให้เกิดการกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกที่มากเกินไป หรือการเสียดุลอัตโนมัติ (autonomic imbalance) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการนำไฟฟ้าในหัวใจ และเพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ ผลกระทบอาจมีตั้งแต่หัวใจเต้นเร็วผิดปกติแบบชั่วคราว ไปจนถึงภาวะหัวใจห้องล่างเต้นผิดจังหวะที่อาจเป็นอันตรายถึงชีวิต
- **การเปลี่ยนแปลงของช่องไอออนในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ** งานวิจัยทั้งในระดับสัตว์ทดลอง (*in vivo*) และในระบบจำลองภายนอก (*in vitro*) แสดงให้เห็นว่า PM2.5 ส่งผลต่อการแสดงออกของช่องแคลเซียม (Ca^{2+}) ชนิด L-type และโปรตีนที่ทำหน้าที่ควบคุมระดับแคลเซียมภายในเซลล์ เช่น SERCA2 ส่งผลให้ระดับแคลเซียมภายในเซลล์สูงขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่การกระตุ้นให้เกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะตามมาได้



ภาพที่ ๑ พยาธิสรีรวิทยาที่แสดงให้เห็นถึงผลของมลพิษจากฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศต่อการเกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ

หลักฐานทางวิทยาการระบาด

เป็นที่น่าสังเกตว่า รายงานการเกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะในงานวิจัยทางคลินิกส่วนใหญ่มักมาจากพื้นที่เขตเมืองที่มีประชากรหนาแน่นและมีความเป็นอุตสาหกรรมสูง งานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่า การสัมผัสกับมลพิษทางอากาศเป็นหนึ่งในปัจจัยกระตุ้นที่สำคัญของภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ ซึ่งเชื่อมโยงกับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของโรคหัวใจและหลอดเลือด อัตราการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลที่สูงขึ้น รวมถึงอัตราการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นทั่วโลก งานวิจัยเชิงวิทยาการระบาดหลายฉบับสนับสนุนความเชื่อมโยงระหว่าง PM2.5 กับภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ โดยแสดงว่ากลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงสูงต่อภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะจาก PM2.5 ได้แก่กลุ่มผู้สูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือด ผู้ป่วยเบาหวาน ผู้ที่มีภาวะอ้วนหรือ metabolic

syndrome อีกทั้งยังมีรายงานที่แสดงให้เห็นว่า ภาวะหัวใจล้มเหลว ภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด ภาวะไขมันในเลือดสูง และความดันโลหิตสูง สามารถถูกกระตุ้นให้รุนแรงขึ้นเมื่อได้รับ PM2.5 เข้าสู่ร่างกาย ข้อมูลจาก Meta-analysis (Song et al., 2016: 642) แสดงว่า การเพิ่มขึ้นของ PM2.5 ทุก $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีความสัมพันธ์กับการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลหรือการเสียชีวิตจากภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ ข้อมูลจาก Meta-analysis (Tassanaviroj et al., 2024) ยังแสดงให้เห็นว่า PM2.5 สัมพันธ์กับการเกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ ทั้งในผู้ป่วยเบาหวานและผู้ป่วยไม่เป็นเบาหวาน โดยมี odds ratio ที่สูงขึ้นในกลุ่มเบาหวาน แม้ความแตกต่างจะไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.304$) นอกจากนี้ งานวิจัยโดยใช้หนูทดลอง (Tsai et al., 2023) แสดงให้เห็นว่า PM2.5 ส่งผลต่อการควบคุมระบบประสาทอัตโนมัติของหัวใจและการแสดงออกของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมของระดับแคลเซียมภายในเซลล์ รวมไปถึงการนำไฟฟ้าในหัวใจ ส่งผลทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ

บทสรุป

ฝุ่นละอองในอากาศ โดยเฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน $2.5 \mu\text{m}$ ไมครอน (PM2.5) มีหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าสามารถก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดของมนุษย์ได้ โดยเฉพาะการเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ ข้อมูลจากการศึกษาทั้งในระดับสิ่งมีชีวิต (*in vivo*) และในระบบจำลองภายนอก (*in vitro*) แสดงให้เห็นว่า ช่องไอออนของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจเป็นหนึ่งในเป้าหมายหลักของ PM2.5 ซึ่งมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าในหัวใจ และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ อีกทั้งในระดับคลินิกมีรายงานที่แสดงให้เห็นว่า ภาวะหัวใจล้มเหลว ภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด ภาวะไขมันในเลือดสูง และความดันโลหิตสูง สามารถถูกกระตุ้นให้รุนแรงขึ้นเมื่อได้รับ PM2.5 เข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากความเครียดออกซิเดชันและการอักเสบรุนแรงขึ้น ดังนั้น ปัญหามลพิษทางอากาศกับภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ จึงมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันโดยตรง ซึ่งก็เป็นปัญหาที่สำคัญและไม่ควรถูกมองข้าม แต่ควรได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วนโดยการผลักดันนโยบายสิ่งแวดล้อมเพื่อลดแหล่งกำเนิด PM2.5 เช่น การควบคุมการเผาในที่โล่ง การใช้พลังงานสะอาด

เอกสารอ้างอิง

- Brook, R. D., et al. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331–2378.
- Jinarat, D., et al. (2025). Particulate matter and cardiac arrhythmias: From clinical observation to mechanistic insights at cardiac ion channels. *Environmental Pollution*, 15(373), 126168.
- Song, X., et al. (2016). Short-Term Exposure to Air Pollution and Cardiac Arrhythmia: A Meta-Analysis and Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(7), 642.

- Tassanaviroj, K., et al. (2024). Effect modification of diabetic status on the association between exposure to particulate matter and cardiac arrhythmias in a general population: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 19(5), e0301766.
- Tsai, T. Y., et al. (2023). Neural mechanism facilitating PM2.5-related cardiac arrhythmias through cardiovascular autonomic and calcium dysregulation in a rat model. *Scientific Reports*, 13, 16016.